Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 33, No. 4, Winter 2020, p. 395-412

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۴۱۲-۳۹۵

ارزیابی اثرات اقتصادی تغییرات کمیت و کیفیت آب آبیاری بر کشاورزی استان کرمان

فرزانه صالحی رضا آبادی[۱]- ماشاالله سالارپور[۲]- مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۳]*- سامان ضیایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

چکیده

در مطالعه‌ی حاضر به تحلیل اقتصادی اثرات تغییرات کمی و کیفی آب در قالب سناریوهای مختلف بر مفاهیمی همچون عملکرد، الگوی کشت، بهره‌وری آب و سود ناخالص کشاورزان در سال ۹۷-۱۳۹۶ در شهرستان‌های عمده استان کرمان شامل رفسنجان، سیرجان، کرمان، انار، زرند و بردسیر پرداخته شده است. در این راستا، اثر افزایش شوری خاک بر عملکرد محصولات مختلف و اثر همزمان تغییرات کمی و کیفی آب بر سایر شاخص‌های ذکر شده با لحاظ تابع تولید محصول-آب-شوری در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت انجام شده است. نتایج اعمال سناریوی افزایش یک واحد شوری خاک نشان داد که بیشترین کاهش عملکرد مربوط به محصولات کلزا و سیب زمینی به‌ترتیب ۱۳ و ۱۲ درصد و کمترین میزان کاهش عملکرد مربوط به محصولات پسته و جو به میزان ۵ درصد است. کمترین و بیشترین میزان کاهش سطح زیر کشت در اثر کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب نیز به‌ترتیب مربوط به مناطق کرمان و رفسنجان است. همچنین، برای تمامی مناطق، افزایش یک واحد شوری بیشترین تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب دارد. افزون‌براین، کاهش کیفیت منابع آب ناشی از افزایش شوری، پسته‌کاران را در جهت کشت کمتر محصول پسته ترغیب کرده که این امر باعث کاهش بازده برنامه‌ای آن‌ها می‌شود. با توجه به اثرات منفی کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر بهره‌وری اقتصادی و مدیریت منابع آب به‌خصوص در منطقه پسته‌خیز رفسنجان لزوم توجه به ابزارهای بهبود بهره‌وری اقتصادی از جمله استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری و یا راهکارهای اصلاح الگوی کشت و بیمه محصولات در جهت بهبود بازده برنامه‌ای می‌تواند مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، بازده برنامه‌ای، بهره‌وری آب، تابع تولید محصول-آب-شوری، کیفیت آب

مقدمه

برداشت بی‌رویه و پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بحرانی شدن وضعیت آب در بیش از ۱۲۰ دشت از دشت‌های مستعد کشور که هرساله به این تعداد اضافه می‌شود، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است (۱۰). افت سطح آب‌های زیرزمینی، اثراتی همچون کاهش آبدهی رودخانه‌ها، نشست زمین، افزایش هزینه عمیق‌تر نمودن چاه‌ها، افزایش هزینه پمپاژ آب، کاهش آبدهی چاه‌ها، خشک شدن چاه‌های کم‌عمق و چشمه‌ها، نفوذ آب‌شور و کاهش کیفیت آب را به دنبال داشته است. اکثر آب‌های آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک ایران نیز از کیفیت مطلوبی برخوردار نبوده و دارای درجات مختلفی از شوری بوده (۱۷) که تأثیر محیط‌های شور بر کاهش تولید و عملکرد محصولات کشاورزی قابل ملاحظه است (۵ و ۲۱). پاسخ سنتی به تهدید کاهش عملکرد محصول که از شوری ناشی شده، به‌کارگیری آب بیش‌تر از نیاز گیاه به منظور شستن نمک‌ها به بیرون از ناحیه ریشه هست (۵). افزون‌براین، پدیده‌های مختلفی از جمله تغییر اقلیم ممکن است با ترکیب سطح شوری در حوضه‌های با سطح شوری بالاتر و جریان ورودی با غلظت شوری کمتر همراه باشد (۵). همچنین، در بسیاری از اراضی فاریاب، عملکرد محصول به دلیل شوری و سدیمی بودن آب و خاک کاهش می‌یابد. بخش اعظمی از اراضی کشور با محدودیت‌های متوسط تا شدید از نظر شوری مواجه می‌باشد. نتایج اکثر مطالعات مربوط به شوری نشان داده که غلظت بالای نمک در محلول خاک، عملکرد گیاهان زراعی و محصولات باغی کشور را به شدت کاهش می‌دهد (۳۱). از طرفی با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در موقعیت جغرافیایی خشک، میزان بارندگی کمتر از یک سوم متوسط جهانی، تبخیر بیش از سه برابر متوسط جهانی، توزیع نامناسب بارندگی و سهمی کمتر از ۰/۱۱۵ درصدی آب شیرین به منظور تأمین غذای جمعیت در حال افزایش و در نتیجه افزایش تقاضا برای آب، برنامه‌ریزی در جهت ارتقای

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، استادیار و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل
۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(*- نویسنده مسئول: Email: m.mardani@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/jead2.v33i4.84119

بهره‌وری آب کشاورزی از موضوعات راهبردی محسوب می‌شود. براساس گزارش بانک جهانی، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران در سال‌های مختلف به طور میانگین ۰/۲ دلار به ازای هر متر مکعب است که نسبت به میانگین این شاخص در کشورهایی مانند فرانسه (۸/۸ دلار) اختلاف بسیار زیادی دارد (۴۲). بنابراین، با توجه به پایین بودن میزان بهره‌وری نهاده‌های تولیدی بخش کشاورزی از جمله آب به عنوان مهم‌ترین نهاده کشاورزی، اندازه‌گیری و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی، یکی از مهم ترین موضوعاتی است که در سال‌های اخیر در مجامع علمی مرتبط با آب و آبیاری مورد توجه جدی قرار گرفته است. با تحلیل شاخص بهره‌وری آب می‌توان راهکارهای مناسبی جهت سیاست‌گذاری‌های صحیح برای تولید محصولات کشاورزی در راستای دستیابی به حداکثر سود، توسعه پایدار و امنیت غذایی اتخاذ نمود.

استان کرمان یکی از استان‌های مهم کشور در زمینه تولید محصولات باغی و زراعی است. به‌طوری‌که این استان با دارا بودن سهم ۱۱/۶ درصدی از کل سطح باغ‌های کشور، بعد از استان فارس در رتبه دوم قرار دارد. همچنین وجود حدود ۳۰۰ هزار هکتار سطح زیرکشت محصولات زراعی در این استان بیانگر این مطلب است که این استان یکی از استان‌های متکی بر اقتصاد کشاورزی است و در این میان محصول پسته بیشترین سطح زیر کشت را در این استان به‌خود اختصاص داده است. افزون‌براین، استان کرمان به علت موقعیت خاص جغرافیایی و ناهمواری‌های بسیار پراکنده و تأثیر دیگر عوامل از مناطق خشک جهان و ایران به شمار می‌رود و روند بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی استان، طی سالیان گذشته به‌گونه‌ای بوده است که با رشد جمعیت و افزایش تقاضا و همچنین با پیشرفت تجهیزات حفاری روزبه‌روز بر تعداد چاه‌های عمیق استان و میزان تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی افزوده شده است به‌طوری‌که مشکل افت سطح آب زیرزمینی و بیلان منفی سفره‌ها در اکثر دشت‌های استان کرمان گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به دشت‌های رفسنجان، کرمان، جیرفت، سیرجان، زرند و اختیارآباد اشاره نمود (۱). در این راستا، مطالعات مختلف نشان داده که برداشت بیش از حد از منابع آب‌های زیرزمینی در استان کرمان و افت کیفیت آب چاه‌ها و در نتیجه افزایش شوری موجب کاهش رشد ریشه، اندام هوایی و عملکرد پسته شده است. شدت کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و افزایش شوری آب تا حدی است که حداکثر شوری در بعضی موارد تا ۲۰۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر نیز گزارش شده است. این مسئله کاهش عملکرد پسته را به‌دنبال داشته است. مطالعات پژوهشکده پسته نشان می‌دهد آب‌های با شوری (EC) تا ۸۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر بدون اینکه اثر معنی‌داری بر عملکرد پسته داشته باشد، قابل‌استفاده می‌باشند. از آب‌های تا شوری ۱۲۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر نیز با قبول حدود ۲۰-۱۵ درصد کاهش عملکرد، با اعمال مدیریت مناسب شوری و تأمین آبشویی لازم می‌توان استفاده نمود. برای شوری‌های بالاتر، کشت و کار پسته اقتصادی نبوده و توصیه نمی‌گردد (۳۳).

از جمله مطالعاتی که تأثیر هم‌زمان شوری و کمیت آب بر عملکرد محصول را مورد بررسی قرار داده‌اند می‌توان به مطالعات پیری و همکاران (۳۲)، شیرمحمدی علی‌اکبرخانی و همکاران (۳۶)، ارس و سوارس (۲۸)، کاترجی و همکاران (۲۰) و سینگ (۳۸) اشاره نمود. در این دسته از مطالعات اثر هم‌زمان کیفیت و کمیت آب بر عملکرد یک محصول خاص همچون گندم، ذرت، چغندرقند، سورگوم، سویا، اسفناج و غیره، اندازه‌گیری و بررسی شده است. افزون‌براین، استفاده از تابع تولید به منظور بهینه‌سازی محصول تولیدی به ازای مصرف کمتر آب تحت شرایط خاص هر منطقه (کمبود آب، شوری) حائز اهمیت است. در مطالعه کیانی و عباسی (۲۲) بهترین تابع تولید گندم در شرایط شوری و کم آبی تابع متعالی[1] انتخاب شده است. شیرمحمدی علی‌اکبرخانی و همکاران (۳۶) با استفاده از تابع تولید آب – شوری – عملکرد در شرایط توأم شوری و تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که تابع درجه دوم عملکرد ذرت علوفه‌ای را بهتر از سایر توابع پیش‌بینی می‌کند. همچنین در این مطالعه تولید نهایی آب مصرفی و شوری آب به ترتیب ۰/۷۷ و ۲/۷۵- به دست آمد. مطالعه دیگری که تأثیر کمیت و به‌ویژه کیفیت (شوری) آب را بر کشاورزی آبی مورد بررسی قرار داده‌است، مطالعه نیکویی و همکاران (۲۷) می‌باشد. آنان در مطالعه‌ای با عنوان «مدیریت مصرف آب در سطوح متفاوت شوری در راستای تحقق اهداف چندگانه کشاورزان حوضه زاینده‌رود»، الگوی را جهت برنامه‌ریزی استفاده بهینه از آب با کیفیت‌های متفاوت در بهره‌برداری کشاورزی ارائه کردند. در این الگو با دادن اطلاعات اولیه‌ای همچون EC آب، قیمت‌های پیش‌بینی‌شده محصولات و وزن هر یک از اهداف آرمانی تصمیم‌گیرنده، الگوی بهینه‌ای با ارائه سطح، عمق آبیاری مناسب و میزان کاربرد سایر نهاده‌های تولیدی در کشت محصولات مختلف، به کشاورزان پیشنهاد شد. مطالعات بررسی‌شده بر این نکته تأکید دارند که علاوه بر کمیت آب، کیفیت آب نیز یکی از محدودیت‌های عمده تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. این در حالی است که مطالعات بسیار اندکی تأثیر هم‌زمان کمیت (کمیابی) آب و کیفیت (شوری) آب بر کشاورزی، الگوی کشت و بازده برنامه‌ای را مدنظر قرار داده‌اند.

الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در تحلیل سیاست‌ها و برای کالیبره کردن الگوهای تولید کشاورزی و مصرف منابع کاربرد دارد (۱۶). این الگو با به حداکثر رساندن محتوای اطلاعات موجود در مجموعه داده‌های کشاورزی در سطوح مختلف منطقه‌ای و ملی استفاده شده است (۲۹). اطلاعات مورد نیاز برای برآورد این الگوها

1- Transcendental function

اندک است. اهمیت این مسئله به ویژه در الگوسازی های منطقه‌ای که در آن اطلاعات قابل اندازه‌گیری محدودتر می‌باشد، بیشتر است. ساختار محدودیت‌هایی که در درون این الگوها اعمال می‌شود، ابزار مناسبی را برای بررسی آثار اعمال محدودیت‌های سیاستی و یا محدودیت روی منابع تولید فراهم می‌کند. در این روش نیازی به استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون که می‌تواند قابلیت شبیه‌سازی الگو را تحت تأثیر قرار دهد، وجود ندارد. توانایی PMP در پاسخ شفاف به گزینه‌های سیاستی مختلف از مزایای دیگر آن است. ویژگی دیگر الگوی PMP این است که کالیبراسیون غیرخطی می‌تواند در هر سطحی از جمعی‌سازی اتفاق بیفتد (۱۵). در مطالعات مختلف با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به تحلیل سیاست‌های مختلف مانند افزایش هزینه تأمین آب، کاهش آب قابل دسترس، تغییر قیمت محصولات کشاورزی، جایگزینی الگوی کشت و مالیات بر نهاده‌های تولید بر عملکرد محصول، تغییرات الگوی کشت، سود ناخالص و بهره‌وری مصرف آب پرداخته شده است (۳، ۲۶، ۸، ۶ و ۴۱).

مطالعات مرور شده حکایت از اهمیت کیفیت آب در کنار کمیت آب کشاورزی دارند. این دو عامل، می‌توانند الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان را تحت تأثیر قرار دهند درحالی‌که مطالعات بسیار اندکی وجود دارند که تأثیر هم‌زمان کیفیت (شوری) و کمیت (مقدار عرضه) آب را بر الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان بررسی کرده باشند. همچنین مطالعه‌ای یافت نشد که در استان کرمان و نواحی پسته‌کار این استان با لحاظ کردن شرایط فوق، الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان این مناطق را مورد مطالعه و بررسی قرار دهد. افزون‌براین، با توجه به اهمیت صادرات غیرنفتی و ارزآوری حاصل از صادرات پسته و تأثیرگذاری شدید کمبود آب و شوری آب و خاک بر کاهش عملکرد این محصول، تحلیل و بررسی تأثیر عوامل مختلف از جمله متغیرهای شوری و کم آبی بر بهره‌وری محصول پسته در کنار سایر محصولات زراعی و سود ناخالص کشاورزان با نگاهی یکپارچه ضروری است. بنابراین در مطالعه حاضر به تحلیل اقتصادی اثرات تغییرات کمی (کم‌آبی) و کیفی (شوری) آب در قالب سناریوهای مختلف بر مفاهیمی همچون عملکرد، الگوی کشت، بهره‌وری آب و سود ناخالص کشاورزان در شهرستان‌های عمده استان کرمان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف مطالعه حاضر، ابتدا تابع شوری-آب-عملکرد برای هر محصول به‌دست آمد. سپس با لحاظ کردن این تابع در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، اثر سناریوهای مختلف شامل تغییر سطح شوری آب و تغییر عرضه آب بر مفاهیمی همچون بهره‌وری آب، عملکرد محصولات، الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان به‌ویژه پسته‌کاران، تحلیل و بررسی شده است. با توجه به آنچه که بیان شد، فرآیند انجام این مطالعه در چارچوب شکل ۱ قابل ملاحظه است.

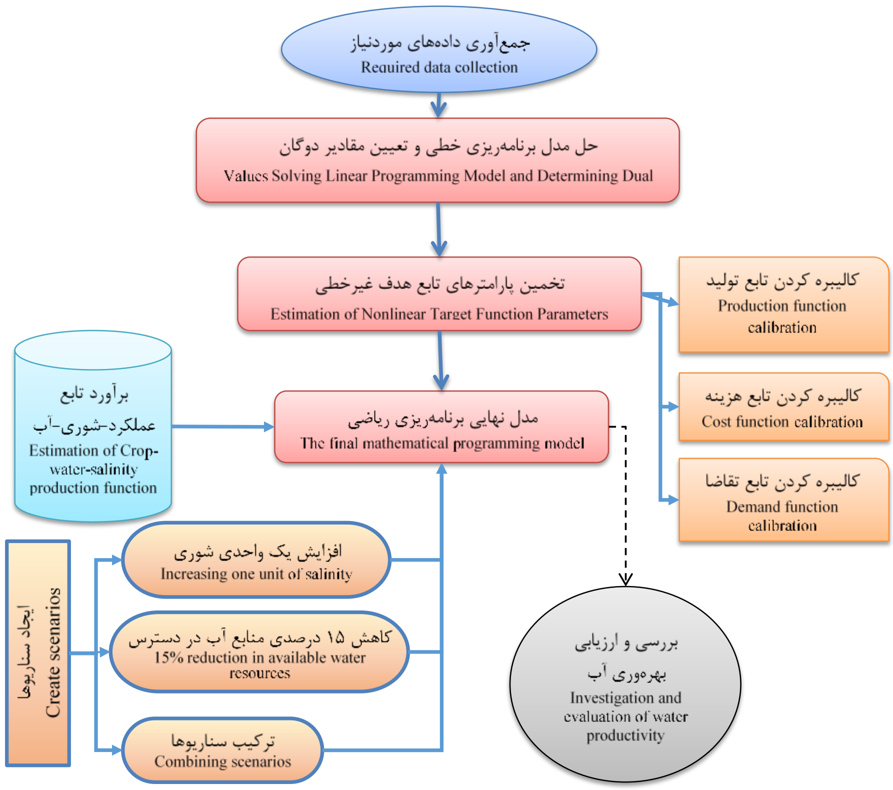
در سال‌های اخیر، الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی به شکل گسترده‌ای در مدیریت آب در کشاورزی مورد استفاده قرارگرفته‌اند. این الگوها، به‌ویژه از چند دهه گذشته به‌عنوان یکی از روش‌هایی می‌باشند که به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری در مورد مسائل کشاورزی درسطح مزرعه و بخش کشاورزی معرفی شده‌اند (۲۵). برنامه‌ریزی ریاضی می‌تواند به دو شیوه هنجاری (NMP)[1] و مثبت (PMP)[2]، توسعه داده شود. کاربرد و انتخاب هر روش، به سه عامل داده‌های موجود، تمرکز الگوی (متضمن دستور[3]، اکتشافی[4] و یا توصیفی[5]) و حوزه تحقیق بستگی دارد. به این ترتیب، این انتخاب، نتایج و توانایی‌های متفاوتی را در اختیار سیاست‌گذار خواهد گذاشت. روش برنامه‌ریزی مثبت، اولین بار توسط هویت (۱۴) معرفی شد و جهت رفع کاستی‌ها و غلبه بر مشکلات موجود در الگوی برنامه‌ریزی هنجاری توسعه یافت. این الگو یک روش تحلیلی تجربی است که از تمام اطلاعات موجود فارغ از اینکه به چه میزان کمیاب هستند استفاده می‌کند و در تحلیل‌های منطقه‌ای و بخشی کشورهای درحال‌توسعه و تحلیل اقتصادی زیست‌محیطی مفید می‌باشد. برخلاف الگوهای NMP، در الگوهای PMP برخی از پارامترها تعدیل می‌شوند تا قادر به بازتولید[6] دقیق وضعیت پایه باشند. با توجه به اینکه این الگوها قادر به بازتولید داده‌های مشاهده شده می‌باشند، این روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نامیده می‌شود. مهم‌ترین هدف این الگوها توضیح عکس‌العمل‌های تولیدکنندگان نسبت به تغییرات خارجی است که این الگوها را برای سیاست‌گذاران بسیار جذاب می‌سازد (۲۹ و ۱۳) بنابراین در این مطالعه نیز سعی می‌شود که با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به اثر تغییرات عرضه و شوری آب بر کشاورزی آبی استان کرمان پرداخته شود. قبل از توضیح الگوی جبری PMP، تمامی متغیرها، پارامترها و مجموعه‌های مورداستفاده در این مطالعه، در جداول ۱ و ۲ خلاصه شده است.

در مرحله اول محدودیت‌های کالیبراسیون به مجموعه‌ی محدودیت‌های منابع یک الگوی برنامه‌ریزی خطی اضافه می‌شوند. این محدودیت‌ها سطح فعالیت‌ها را به سطوح مشاهده شده‌ی دوره‌ی

1- Normative Mathematical Programming
2- Positive Mathematical Programming
3- Prescriptive
4- Explorative
5- Descriptive
۶- منظور از بازتولید این است که سطح بهینه فعالیت‌های به‌دست‌آمده از الگوی کالیبره شده، دقیقاً همان مقادیر مشاهده‌شده در وضعیت پایه می‌باشند.

پایه مقید می‌کنند. با فرض حداکثرسازی مجموع سود منطقه‌ای، الگوی اولیه به‌صورت ذیل تصریح می‌گردد (۱۴، ۱۶ و ۳۰):
که در آن، رابطه (۱) تابع هدف را نشان می‌دهد و روابط (۲) و (۳) به ترتیب بیانگر محدودیت‌های سیستمی و محدودیت‌های کالیبراسیون الگو می‌باشند. رابطه (۴) نیز محدودیت‌های غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها را نشان می‌دهد.

هویت (۱۴)، پاریس و هویت (۲۴) و همچنین هکلی (۱۲)، بردار مقادیر دوگان λ^1 مرتبط با محدودیت‌های کالیبراسیون را به‌عنوان نماینده‌ای از هر نوع خطای تصریح الگو، خطای داده‌ها، خطای هم‌جمعی‌سازی، رفتار ریسکی و انتظارات قیمتی تفسیر کرده‌اند.



شکل ۱- الگوریتم مراحل و فرآیند انجام مطالعه
Figure 1- The algorithm of the steps and process of the study

جدول ۱- توضیح متغیرها
Table 1- Description of variables

نام Name	نوع Type	توضیح Description	نام Name	نوع Type	توضیح Description
i	مجموعه Set	نوع محصول Crop type	λ^1	متغیر Variable	متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع Dual variables related to resource constraints
j	مجموعه Set	نوع عامل تولید Crop input	λ^2	متغیر Variable	متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های کالیبراسیون Dual variables related to resource calibration
h	مجموعه Set	نوع سیستم آبیاری Type of irrigation system	Y_{ghi}	متغیر Variable	میزان تولید محصول Crop production
g	مجموعه Set	مناطق کشاورزی Agricultural areas	yld_{ghi}	متغیر Variable	عملکرد محصول Crop yield
Z	متغیر Variable	ارزش تابع هدف (سود ناخالص) Objective function (gross profit)	x_{ghi}	متغیر Variable	سطح زیر کشت محصول Cultivation area crop

جدول ۲- توضیح پارامترهای مطالعه

Table 2- Description of study parameters

توضیح Description	نام Name	توضیح Description	نام Name
قیمت محصول Product price	v_{gi}	انعطاف‌پذیری قیمت Price flexibility	χ_i
ضرایب لئونتیف Leontief coefficients	a_{ghij}	حداکثر نرخ تبخیر و تعرق برای محصول Maximum evaporation and transpiration rate for the crop	et_{max}
سطح زیر کشت محصول i در سال پایه cultivation area crop i in the base year	$\tilde{x}_{ghi}$	شوری آب Water salinity	Ec
هزینه نهاده Input cost	c_{ghij}	پارامترهای توابع تبخیر و تعرق – شوری-آب Parameters of evaporation and transpiration functions - salinity-water	θها
مقدار نهاده در دسترس The amount of available inputs	b_{gj}	پارامترهای توابع عملکرد – شوری-آب Parameters of function yield - Salinity-Water	ψها
اعداد مثبت کوچک Small positive numbers	ε	حداقل سطح تبخیروتعرق موردنیاز برای عملکرد Minimum evaporation and transpiration level required for yield	$\underline{et}$
ضریب اطمینان Confidence coefficient	α	سطح آستانه تبخیر و تعرق evaporation and transpiration threshold	et^{min}
حجم آب مورداستفاده Volume of water used	W_{ghi}	عملکرد بالقوه در نیاز آبی کامل potential of full water requirement	YM_i
مقدار آب در دسترس Avalable of water	AW_g	نسبت بهره‌وری اقتصادی آب Economic productivity of water ratio	$EWPR$
بهره‌وری اقتصادی آب Economic productivity of water	EWP	ارزش محصول تولیدی The value of the product	VY
هزینه کل آب مصرفی Total cost of water used	$CTWU$	کل آب مصرفی *Total water use*	TWU

$$Max\ \ Z=\sum_g\sum_h\sum_i\left(v_{gi}yld_{ghi}-\sum_j a_{ghij}c_{ghij}\right)x_{ghi} \qquad (۱)$$

$$S.t$$

$$\sum_h\sum_i a_{ghij}x_{ghi}\le b_{gi} \qquad \forall g,j \qquad [\lambda^1] \qquad (۲)$$

$$x_{ghi}\le\tilde{x}_{ghi}+\varepsilon \qquad \forall g,h,i \qquad [\lambda^2] \qquad (۳)$$

$$x_{ghi}\ge 0 \qquad \forall g,h,i \qquad (۴)$$

در کالیبراسیون یک تابع عملکرد غیرخطی کاهشی، بردار دوگان λ^2 بیانگر اختلاف بین ارزش تولید نهایی و متوسط می‌باشد (۱۴ و ۱۵). علاوه بر آن در کالیبراسیون یک تابع هزینه غیرخطی صعودی، بردار دوگان λ^2 به‌عنوان بردار هزینه نهایی تفاضلی تفسیر شده که

همراه با بردار هزینه (c)، هزینه نهایی و واقعی تولید فعالیت مشاهده‌شده iام را معلوم می‌کند (۳). در مرحله دوم، مقادیر دوگان به‌دست‌آمده از مرحله اول برای تخمین پارامترهای تابع هدف غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عبارت دیگر در این مرحله مقادیر دوگان برای کالیبره کردن پارامترهای تابع هدف غیرخطی به کار می‌روند. در این حالت سطوح فعالیت مشاهده‌شده در دوره پایه توسط الگوی غیرخطی مذکور و بدون محدودیت‌های کالیبراسیون بازتولید می‌شود (۱۴، ۱۵ و ۲۹). در این مرحله هر نوع تابع غیرخطی که شرایط موردنظر را داشته باشد می‌تواند برای کالیبراسیون به کار رود (۲۴ و ۳۰). در این مطالعه تابع تولید CES[1] و تابع هزینه درجه دوم و تابع تقاضای محصولات، برای کالیبره کردن الگو استفاده شده است.

قیمت محصول، به‌وسیله وزن‌دهی به قیمت‌های منطقه‌ای مشاهده‌شده (v_{gi}) و سهم هر منطقه در تولید محصول محاسبه می‌شود. سهم تولید (pp_{gi}) به‌صورت ذیل تعیین می‌شود:

$$pp_{gi} = \frac{\tilde{Y}_{gi}}{\sum_g \tilde{Y}_{gi}} \qquad (۵)$$

که $\tilde{Y}_{gi}$ تولید پایه محصول i در منطقه g، می‌باشد. پس از محاسبه سهم تولید و با داشتن قیمت‌های منطقه‌ای مشاهده‌شده (v_{gi})، می‌توان قیمت وزنی (wp_i) را بدین‌صورت محاسبه کرد (۱۶):

$$wp_i = \sum_g v_{gi} pp_{gi} \qquad (۶)$$

در مرحله‌ی سوم روش PMP، توابعی که در مرحله قبل برآورد شده، در تابع هدف مسئله موردبررسی قرار داده می‌شود و یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئله اولیه به‌استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی مورداستفاده قرار می‌گیرد. البته لازم است این نکته را ذکر کنیم که الگو ابتدا با قیمت‌های مشاهده‌شده (برون‌زا) اجرا می‌شود و پس از آن با قیمت‌های درون‌زا. در واقع تابع تقاضای که منجر به قیمت‌های درون‌زا برای محصولات می‌شود، به‌عنوان یک سناریو مطرح می‌گردد.

توابع تولید شوری-آب-عملکرد

متغیر yld_i که عملکرد محصول i، می‌باشد، از طریق استفاده از توابع تولید محصول-آب که هم اثرات تنش آبی و هم شوری را توضیح می‌دهد، تعیین می‌شود. این توابع در گذشته توسط کان و همکاران (۱۹) و شواب و همکاران (۳۵) برای لحاظ کردن شوری در آنالیزهای اقتصادی، به‌کاربرده شده بود. این توابع هم با مطالعات علوم کشاورزی که به تجزیه و تحلیل روابط شوری-آب-عملکرد پرداختند سازگار می‌باشند و هم با تحقیقاتی که در گذشته در مورد اقتصاد مدیریت شوری انجام شده‌است (۵). توابع تولید شوری – آب-عملکرد، با استفاده از نسخه‌های به‌روزشده الگوهای تولید-داده[2] و فرم‌های تابعی در مقاله کان و همکاران (۱۹) تعیین می‌شود. ابتدا رابطه بین تبخیر و تعرق گیاه (et) که تابعی از حجم آب مورداستفاده و شوری آب در دسترس گیاه می‌باشد به‌صورت ذیل تعیین می‌شود:

$$et(W,Ec)_{hi} = \frac{et_{\max,i}}{1+\theta_o (Ec+\theta_1 w_{hi}^{\theta_2})^{\theta_3}} \qquad (۷)$$

که $et_{\max,i}$، حداکثر نرخ تبخیر و تعرق براساس نوع محصول است. et_{hi} به‌عنوان تابعی از حجم (W) و شوری (Ec) آب در دسترس گیاه و پارامترهای θ_0، θ_1، θ_2 و θ_3 بیان می‌شود. این پارامترها با استفاده از مطالعات گوناگون ازجمله مطالعات ون گنوکتن و هافمن (۴۰) و ون گنوکتن (۳۹) به‌واسطه داده‌های تولیدشده با استفاده از الگوهای شبیه‌سازی بر اساس توابع تبخیروتعرق و روابط شوری‌خاک-آبیاری، برای محصول (i)، بازده‌های سیستم آبیاری (h) و سطوح مختلف آب و شوری همان‌طور که در کان و همکاران (۱۹) توضیح داده‌شده، برآورد می‌شوند. سپس رابطه بین عملکرد و تبخیروتعرق (*et(W,Ec)*)، بدین‌صورت الگوسازی می‌شود:

$$yld_{hi} = \psi_1\left[et_{hi}(W_{hi},Ec)-et\right]+ \psi_2\left[et_{hi}(W_{hi},Ec)-et\right]^2 \qquad (۸)$$

که ψ ها پارامترهای عددی برآورد شده از داده‌ها بر اساس شبیه‌سازی‌های الگوی رشد-گیاه با داده‌هایی که توسط لتی و همکاران (۲۳) توسعه یافت، می‌باشند. $\underline{et}$ حداقل سطح تبخیر و تعرق موردنیاز برای عملکرد می‌باشد. توابع ۵ و ۶ برای هر جفت سیستم آبیاری-محصول برای دامنه‌ای از سطوح استفاده آب، برآورد می‌شود. با جایگزین کردن رابطه ۷ در ۸، روابط بیوفیزیکی بین شوری، آب و عملکرد، به‌دست‌می‌آید. تابع عملکرد فوق برای نرخ‌های استفاده آب که بالاتر از سطح آستانه‌ی $et_i^{\min}$ می‌باشند، به کار می‌رود. فرض شده است که پایین‌تر از این سطح آستانه، عملکرد محصولات سالانه صفر باشد. برای محصولات باغی چندساله، در وضعیت‌های گرم و نیمه‌خشک، یک سطح آستانه دومی از مصرف آب موردنیاز است که به آن عنوان «آستانه تأثیر عملکرد آینده[3]» نسبت داده می‌شود (۵). پایین‌تر از این سطح آستانه دوم، نه‌تنها عملکردی برای دوره جاری وجود ندارد، بلکه ظرفیت عملکرد برای چندین سال بعد هم کاهش می‌یابد.

اثرات آستانه، متضمن اضافه کردن یک دستور شرطی برای تابع

1- Constant Elasticity of Substitution

2- data-generating models

3- future yield impact threshold

عملکرد می‌باشد که در رابطه ۹ نشان داده‌شده است.

$$yld_{ghi} = -YM_{hi}\left(1-\frac{W_{hi}}{et_i^{\min}}\right) \quad for \quad W_{hi} \le et_i^{\min} \qquad (۹)$$

این رابطه واکنش عملکرد محصولات چندساله را به آب در محدوده نرخ استعمال آب پایین‌تر از سطح آستانه‌ی $et_i^{\min}$ ارائه می‌دهد. این رابطه افت عملکرد آتی را محاسبه می‌کند به‌طوری‌که اگر هیچ آبی استفاده نشود ($W_{hi} = 0$)، مساوی است باارزش یک سال عملکرد بالقوه کامل در نیاز آبی کامل YM_{hi}. رابطه دلالت بر این دارد که اگر سطح آستانه نیاز آبی مؤثر، عملی شود، افت عملکرد آتی برابر صفر می‌شود (سطح تثبیت آبیاری). افت عملکرد آتی «غرامت»، یک تناسب خطی بین افت عملکرد بالقوه در آب صفر و افت عملکرد صفر برای نرخ‌های استعمال آب بالاتر از $et_i^{\min}$، می‌باشد (۵).

افزون‌براین، مقایسه بهره‌وری آب در مناطق مختلف استان و همچنین محاسبه بهره‌وری آب در این مناطق بعد از اعمال سناریوهای مختلف و مقایسه آن با حالت پایه انجام گرفته است. از آنجا که در مناطق مختلف استان محصولات مختلف و متفاوتی کشت می‌شوند بنابراین به‌جای محاسبه وزن محصول تولیدی و محاسبه شاخص بهره‌وری فیزیکی آب از شاخص بهره‌وری اقتصادی استفاده شده است. شاخص‌های شامل بهره‌وری اقتصادی آب (EWP)[۱] و نسبت بهره‌وری اقتصادی آب (EWPR)[۲] با استفاده از روابط ذیل محاسبه می‌شوند:

$$EWP = \frac{VY}{TWU} \qquad (۱۰)$$

$$EWPR = \frac{VY}{CTWU} \qquad (۱۱)$$

محدوده مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز

شهرستان‌های رفسنجان، سیرجان، کرمان، زرند، انار و بردسیر از مناطق عمده کشت پسته در این استان می‌باشند که به ترتیب ۲۸، ۲۳، ۱۶، ۱۲، ۸ و ۲ درصد و درمجموع بالغ بر ۸۷ درصد سطح زیر کشت پسته استان کرمان، به این شهرستان‌ها مربوط می‌باشد. همچنین این مناطق حدود ۳۸ درصد از سطح زیرکشت سایر محصولات باغی و حدود ۳۳ درصد از سطح زیرکشت محصولات زراعی استان را به خود اختصاص داده‌اند (۲). از طرفی دیگر برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در این مناطق، باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی شده است. به‌طوری‌که متوسط افت سالانه آب در دشت رفسنجان ۰/۶۳ متر، سیرجان ۰/۶۹ متر، کرمان ۰/۸۷، زرند ۱/۳۶ متر و در بردسیر ۰/۶۰ متر می‌باشد (۳۴). بنابراین با توجه به آنچه بیان شد، شهرستان‌های فوق‌الذکر به‌عنوان محدوده مطالعاتی در نظر گرفته می‌شوند.

آمار و اطلاعات موردنیاز از طریق بانک‌های اطلاعاتی مرتبط با منابع آب ازجمله شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت‌های آب منطقه‌ای شهرستان‌های استان کرمان، اداره کل هواشناسی استان کرمان، سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان، پژوهشکده پسته و در صورت لزوم از طریق مصاحبه حضوری با بهره‌برداران، صاحب‌نظران و متخصصین مربوطه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ جمع‌آوری شده است.

نتایج و بحث

در ابتدا، برای پی بردن به وضعیت مصارف آبی شهرستان‌های مورد مطالعه‌ی استان کرمان، میزان تخلیه سالانه و افت سطح منابع آب زیرزمینی به تفکیک شهرستان‌های منتخب در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳ میزان نوسانات سطح آب زیرزمینی برای تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه منفی است که بیانگر افت سطح آب زیرزمینی در این مناطق است. بیشترین میزان افت سطح آب زیرزمینی سالانه نیز مربوط به شهر زرند می‌باشد که بیانگر میزان تخلیه بیشتر نسبت به تغذیه منابع آب زیر زمینی در این شهر است. در واقع، این آمار نشان می‌دهد که برای تمامی مناطق مورد مطالعه، میزان تخلیه از تغذیه آبخوان بیشتر می‌باشد و لذا کاهش سطح آب زیر زمینی اتفاق افتاده است.

میزان کاهش آب قابل برداشت از آب زیرزمینی با توجه به درصد تغییرات افت سطح منابع آبی طی ده سال اخیر، نزدیک به ۱۵ درصد برآورد شده است. بنابراین، سناریوی کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس برای شهرستان‌های منتخب مورد ارزیابی قرار گرفت. در رابطه با میزان شوری آب به عنوان پارامتر کیفیت آب، افزایش یک واحدی آن به عنوان سناریوی تغییر کیفیت مد نظر قرار گرفت. برای این منظور، در ابتدا تابع عملکرد-آب-شوری برآورد و میزان اثر افزایش یک دسی زیمنس بر متر (dS/m) شوری خاک بر عملکرد محصولات مختلف محاسبه شد. همچنین، حد آستانه تحمل شوری محصولات مختلف نیز برگرفته از آمار فائو در جدول ۴ گزارش شده است.

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که بیشترین کاهش عملکرد نسبت به افزایش یک واحد شوری خاک مربوط به محصولات کلزا و سیب زمینی به ترتیب حدود ۱۳ و ۱۲ درصد و کمترین میزان کاهش عملکرد به افزایش یک واحد شوری خاک مربوط به محصولات پسته و جو به میزان ۵ درصد است. به عبارت دیگر، نتایج نشان می‌دهد که حساسیت محصولات پسته و جو به میزان شوری کمتر از سایر محصولات است. همچنین حد آستانه تحمل شوری محصولات کلزا،

1- Economic Water Productivity
2- Economic Water Productivity Ratio

پسته و جو نسبت به سایر محصولات بیشتر می‌باشد. پس، مقایسه محصولات نشان می‌دهد که محصولات پسته و جو نسبت به شوری مقاوم و حساسیت عملکرد آن‌ها به افزایش شوری کمتر از سایر محصولات است. بنابراین، تغییرات عملکرد محاسبه شده به عنوان سناریوی افزایش شوری خاک در الگو وارد و نتایج آن تحلیل گردید.

جدول ۳- میزان تخلیه سالانه و متوسط نوسانات سالانه آب زیر زمینی مناطق مورد بررسی استان کرمان

Table 3- Annual discharge amount and average annual groundwater fluctuations study areas of Kerman province

شهرستان‌های مورد مطالعه Study areas	متوسط نوسانات سالانه سطح آب زیر زمینی (متر) The average annual fluctuations in groundwater level (meter)	تخلیه سالانه منابع آبی (میلیون متر مکعب) Annual discharge of water resources (million cubic meters)
بردسیر Bardsir	-0.58	226.545
رفسنجان* Rafsanjan	-0.64	743.185
زرند Zarand	-1.36	260.976
سیرجان Sirjan	-0.68	388.466
کرمان Kerman	-0.86	299.793

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای کرمان (آماربرداری سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲).

Source: Kerman Regional Water Company (2013-2014).

*منطقه‌ی رفسنجان شامل شهرهای رفسنجان و انار می‌باشد.

جدول ٤- تغییرات عملکرد محصولات نسبت به افزایش یک واحد شوری

Table 4- The changes of Crop yield relative to increasing one unit of salinity

محصولات Crops	حد آستانه تحمل شوری (dS/m) Salinity tolerance threshold (dS/m)	تغییرات عملکرد (درصد) Change yield (percent)
گندم Wheat	6	-7
جو Barley	8	-5
نخود Pea	3.4	-10.6
سیب زمینی Potato	1.7	-12
یونجه Alfalfa	2	-7.3
ذرت علوفه‌ای Forage corn	1.8	-7.4
کلزا Rapeseed	11	-13
پسته Pistachio	9	-5

مأخذ: یافته‌های تحقیق و FAO (2018).

اثرات سناریوهای افزایش یک واحدی شوری (سناریو ۱)، کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس (سناریو ۲) و کاهش ۱۵ درصدی منابع آب توأم با افزایش یک واحدی شوری (سناریو ۳) بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان، میزان مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب محدوده‌ی مطالعاتی بردسیر در جدول ۵ آمده است. به طور کلّی، مقایسه اثر سناریوی‌های مختلف تغییر کمیّت و کیفیت آب

نشان می‌دهد که اعمال هریک از سناریوها باعث کاهش میزان سطح زیرکشت و مصرف آب در منطقه بردسیر می‌شود. بیشترین میزان کاهش مجموع سطح زیر کشت با اعمال سناریوی کاهش همزمان کمیّت و کیفیت آب اتفاق خواهد افتاد. از طرف دیگر، بهره‌وری اقتصادی مصرف آب با اعمال سناریوی کاهش کیفیت منابع آب (افزایش یک واحدی شوری آب) بر خلاف دو سناریوی دیگر افزایش معنی‌داری ندارد. این یافته نشان می‌دهد که کاهش کمیّت منابع آب، کشاورزان منطقه را به سمت مدیریت بهتر منابع آب در جهت بهبود بهره‌وری اقتصادی رهنمون می‌سازد، اما کاهش کیفیت منابع آب چنین نتیجه‌ای را رقم نمی‌زند.

جدول ۵- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر کشاورزی شهرستان بردسیر

Table 5- Impacts of water quantity and quality depletion scenarios on agricultural of Bardsir

	نام محصول	شرایط فعلی Current conditions	سناریو۱ Scenario 1	سناریو۲ Scenario 2	سناریو۳ Scenario 3
سطح زیر کشت محصولات (هکتار) cultivation area (hectare)	گندم Wheat	7400	6946.22	6777.30	6298.99
	جو Barely	4745.20	4581.30	3975.33	4123.51
	نخود Pea	153.60	0	1754.38	20.31
	سیب زمینی Potato	2239.80	1688.33	5434.84	1630.06
	یونجه Alfalfa	6548.40	6685.60	0	5848.81
	ذرت علوفه‌ای Forage corn	2481	2301.37	2476.97	2026.89
	پسته Pistachio	2586	2556.26	2586	2411.04
مجموع سطح زیر کشت (هکتار) Total area under cultivation (hectare)		26154	24659.09 (-%6)	23004.82 (-%12)	22359.61 (-%14)
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)		1090.76	1040.93 (-%5)	1211.08 (+%11)	1031.68 (-%5)
میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) Water use (million cubic meters)		467.30	449.31 (-%4)	373.92 (-%20)	403.50 (-%14)
بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (ریال) Economic productivity of water consumption (Rials)		2334	2317 (-%1)	3239 (+%39)	2557 (+%10)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

*اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

بنابراین، لزوم توجه به کاهش شوری منابع آب در این منطقه ضروری است. مقایسه اثرات سناریوهای مختلف بر سطح زیر کشت محصول پسته نشان می‌دهد که کاهش ۱۵ درصدی منابع آب تأثیری در سطح زیر کشت محصول پسته ندارد. این در حالی است که افزایش یک واحدی شوری آب با و بدون کاهش همزمان ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس به ترتیب منجر به کاهش سطح زیر کشت این محصول به میزان ۱۷۴/۹۶ و ۲۹/۷۴ هکتار می‌شود. پس نتیجه گرفته می‌شود که علی‌رغم مقاوم بودن محصول پسته به شوری، افزایش شوری برخلاف کاهش کمیّت منابع آبی می‌تواند کشاورزان منطقه بردسیر را به کشت کمتر محصول پسته ترغیب نماید. شایان ذکر است که با توجه به ناچیز بودن سطح زیر کشت محصول کلزا در سناریوهای کشت، از ارائه آن در جدول ۵ خودداری شده است.

اثرات سناریوهای افزایش یک واحدی شوری (سناریو ۱)، کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس (سناریو ۲) و کاهش ۱۵ درصدی منابع آب توأم با افزایش یک واحدی شوری (سناریو ۳) بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان، میزان مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب در محدوده‌ی مطالعاتی شهرستان انار در جدول ۶ آمده است. نتایج بیانگر آن است که اعمال هر سه، باعث کاهش مجموع سطح زیر کشت، بازده برنامه‌ای کشاورزان منطقه و میزان مصرف آب می‌گردد. همچنین، در بین سناریوهای مورد بررسی، سناریوی افزایش یک واحدی شوری آب بیشترین اثر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب

را به دنبال دارد و منجر به کاهش ۳۶ درصدی بهره‌وری اقتصادی مصرف آب نسبت به شرایط فعلی می‌شود. بنابراین، کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب در منطقه‌ی انار منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی و به دنبال آن دور شدن از شرایط بهینه و مدیریت صحیح منابع آب می‌گردد. لذا، لزوم توجه به کمیّت و کیفیت منابع آب در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

سهم سطح زیر کشت محصول پسته در محدوده‌ی مطالعاتی انار نیز حدود ۸۵ درصد است که نشان از اهمیت بالای این محصول دارد. مقایسه اثرات سناریوهای مختلف بر سطح زیر کشت این محصول راهبردی در محدوده‌ی مطالعاتی انار نشان می‌دهد که کاهش ۱۵ درصدی منابع آب کمترین تأثیر منفی بر میزان سطح زیر کشت این محصول را به دنبال دارد. پس می‌توان گفت که افزایش شوری نسبت به کاهش کمیّت منابع آبی، تأثیر بیشتری بر کشاورزان این منطقه جهت کشت کمتر محصول پسته خواهد داشت.

جدول ٦- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر کشاورزی شهرستان انار

Table 6- Impacts of water quantity and quality depletion scenarios on agricultural of Anar

	نام محصول	شرایط فعلی Current conditions	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
سطح زیر کشت محصولات (هکتار) Cultivation area (hectare)	گندم Wheat	2600	2422.31	1698.48	1875.63
	یونجه Alfalfa	3290.80	3055.53	2456.14	2549.40
	پسته Pistachio	33512	31910.91	32648.43	31387.24
مجموع سطح زیر کشت (هکتار) Total area under cultivation (hectare)		39402.80	37388.75 (-%5)	36803.05 -%7	35812.27 (-%9)
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)		5385.03	3227.54 (-%40)	3548.38 (-%34)	3219.01 (-%40)
میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) Water use (million cubic meters)		314.73	296.25 (-%6)	267.79 (-%15)	267.79 (-%15)
بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (ریال) Economic productivity of water consumption (Rials)		17110	10895(-%36)	13251 (-%23)	12021 (-%30)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

*اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

اثرات سناریوهای مختلف تعریف شده بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان، میزان مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب محدوده‌ی مطالعاتی رفسنجان در جدول ۷ آمده است. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که اعمال هر سه سناریوی کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب باعث کاهش بازده برنامه‌ای کشاورزان منطقه و میزان مصرف آب می‌گردد. کاهش بازده برنامه‌ای و میزان مصرف آب به دلیل کاهش مجموع سطح زیرکشت محصول پسته در این منطقه می‌باشد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که میزان بهره‌وری اقتصادی مصرف آب تحت سناریوهای مورد بررسی در منطقه در مقایسه با شرایط فعلی کاهش می‌یابد. در بین سناریوهای مورد بررسی، سناریوهای افزایش یک واحدی شوری آب با و بدون کاهش ۱۵ درصدی منابع آب، بیشترین اثر منفی بر بهره‌وری اقتصادی آب را به دنبال دارند و منجر به کاهش ۴۸ درصدی بهره‌وری اقتصادی مصرف آب نسبت به شرایط فعلی می‌شوند. کاهش کیفیت منابع آب در اثر افزایش یک واحدی شوری تأثیر به مراتب بیشتری از کاهش ۱۵ درصدی میزان منابع آب بر اقتصاد منطقه خواهد داشت. چرا که افزایش یک واحدی شوری در مقایسه با کاهش ۱۵ درصدی منابع آب منجر به کاهش بیشتر سطح زیر کشت محصول پسته می‌شود که این کاهش شدید سطح زیر کشت محصول پسته، کاهش شدید بازده برنامه‌ای کشاورزان را به دنبال دارد. لذا توجه ویژه به کیفیت منابع آب از منظر شوری در منطقه‌ی پسته خیز رفسنجان به شدت توصیه می‌شود.

اثرات سناریوهای افزایش یک واحدی شوری (سناریو ۱)، کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس (سناریو ۲)، و کاهش ۱۵ درصدی منابع آب توأم با افزایش یک واحدی شوری (سناریو ۳) بر شاخص‌های مختلف به ترتیب در دو محدوده‌ی مطالعاتی زرند و سیرجان در جداول ۸ و ۹ آمده است. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که اعمال هر سه سناریوی کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب باعث کاهش بازده برنامه‌ای کشاورزان منطقه زرند و میزان مصرف آب آن‌ها می‌شود.

جدول ۷- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر وضعیت کشاورزی رفسنجان
Table 7- Impacts of water quantity and quality depletion scenarios on agricultural of Rafsanjan

	نام محصول	شرایط فعلی Current conditions	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
سطح زیر کشت محصولات (هکتار) Cultivation area (hectare)	گندم Wheat	100	92.10	0	92.10
	جو Barely	115.40	107.58	0	107.58
	پسته Pistachio	61849	48237.27	53069.23	48237.27
مجموع سطح زیر کشت (هکتار) Total area under cultivation (hectare)		62064.40	48436.95 (-%22)	53069.23 (-%14)	48436.95 (-%22)
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)		7851.33	3217.02 (-%59)	5176.27 (-%34)	3217.02 (-%59)
میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) Water use (million cubic meters)		456.36	356.48 (-%22)	388.29 (-%15)	356.48 (-%22)
بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (ریال) Economic productivity of water consumption (Rials)		17204	9024(-%48)	13331 (-%23)	9024(-%48)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

*اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

در بین سناریوهای مورد بررسی، سناریوی افزایش یک واحدی شوری آب بیشترین اثر منفی بر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب را به دنبال دارد و منجر به کاهش ۳۵ درصدی آن نسبت به شرایط فعلی می‌شود. بنابراین، کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب در منطقه‌ی زرند منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی و به دنبال آن دور شدن از شرایط بهینه و مدیریت صحیح منابع آب می‌گردد. سهم سطح زیر کشت محصول پسته در محدوده‌ی مطالعاتی زرند حدود ۹۴ درصد است که نشان از اهمیت بالای این محصول دارد. مقایسه اثرات سناریوهای مختلف بر سطح زیر کشت این محصول مهم در محدوده‌ی مطالعاتی زرند نشان می‌دهد که افزایش یک واحدی شوری کمترین تأثیر منفی بر میزان سطح زیر کشت این محصول را به دنبال دارد. پس نتیجه گرفته می‌شود که کاهش کمیّت منابع آب، کشاورزان این منطقه را در جهت کشت کمتر محصول پسته ترغیب خواهد کرد.

مطابق جدول ۹، مقایسه اثرات سناریوهای مورد بررسی بر میزان سطح زیر کشت محصولات مختلف در محدوده‌ی مطالعاتی سیرجان نشان می‌دهد که تمامی سناریوها باعث کاهش سطح زیر کشت محصولات می‌شود. اثرات تمامی سناریوهای مورد بررسی بر میزان بازده برنامه‌ای کشاورزان تقریباً یکسان و بین ۲۳ تا ۲۹ درصد کاهش نسبت به شرایط فعلی را نشان می‌دهد. پس نتیجه گرفته می‌شود که اثرات سناریوهای کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب لحاظ شده در تحلیل حاضر، اثرات زیانبار تقریباً یکسانی بر اقتصاد کشاورزی منطقه‌ی سیرجان خواهد داشت. اما اثرات این سناریوها بر میزان مصرف آب نشان می‌دهد که بیشترین اثر منفی بر میزان مصرف آب مربوط به سناریوهای کاهش ۱۵ درصدی منابع آب با و بدون افزایش یک واحدی شوری می‌باشد (حدود ۱۵ درصد). همچنین، نتیجه گرفته می‌شود که کاهش کمیّت ۱۵ درصدی منابع آب نسبت به کاهش کیفیت منابع آبی ناشی از افزایش یک واحدی شوری آب، تأثیر بیشتری بر کشاورزان این منطقه جهت کشت کمتر محصول پسته خواهد داشت.

نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد که تحت سناریوی افزایش یک واحدی شوری آب، سطح زیر کشت تمامی محصولات گندم و جو تا حد زیادی افزایش و محصولات یونجه و پسته در منطقه کرمان کاهش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که اعمال هر سه سناریوی کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب باعث کاهش بازده برنامه‌ای کشاورزان منطقه و میزان مصرف آب می‌شود. کاهش بازده برنامه‌ای و میزان مصرف آب به دلیل کاهش سطح زیر کشت محصولات پر بازده و آب بر مانند یونجه و پسته در این منطقه می‌باشد. در بین سناریوهای مورد بررسی نیز سناریوی افزایش یک واحدی شوری آب بیشترین اثر منفی بر بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب را به دنبال دارد و منجر به کاهش ۳۸ درصدی آن نسبت به شرایط فعلی می‌شود. بنابراین، کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب در منطقه‌ی کرمان منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی و به دنبال آن دور شدن از شرایط بهینه و مدیریت صحیح منابع آب می‌گردد.

جدول ۸- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر وضعیت کشاورزی زرند

Table 8- Impacts of water quantity and quality depletion scenarios on agricultural of Zarand

	نام محصول	شرایط فعلی Current conditions	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
سطح زیر کشت محصولات (هکتار) Cultivation area (hectare)	گندم Wheat	800	715.47	309.99	439.29
	جو Barely	187.80	295.49	0	0
	نخود Pea	4.90	4.42	4	3.82
	یونجه Alfalfa	553.60	514.07	279.57	334.95
	ذرت علوفه‌ای Forage corn	32.60	0	66.33	66.76
	پسته Pistachio	25182	23982.64	23226.56	22704.08
مجموع سطح زیر کشت (هکتار) Total area under cultivation (hectare)		26760.9	25512.09 (-%5)	23886.45 (-%11)	23548.90 (-%12)
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)		3409.95	2096.42 (-%39)	2283.84 (-%33)	2083.57 (-%39)
میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) Water use (million cubic meters)		252.78	240.44 (-%5)	215.08 (-%15)	215.08 (-%15)
بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (ریال) Economic productivity of water consumption (Rials)		13490	8719 (-%35)	10619 (-%21)	9687 (-%28)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

*اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

جدول ۹- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر وضعیت کشاورزی سیرجان

Table 9- Impacts of water quantity and quality depletion scenarios on agricultural of Sirjan

	نام محصول	شرایط فعلی Current conditions	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
سطح زیر کشت محصولات (هکتار) Cultivation area (hectare)	گندم Wheat	2400	2235.22	1432.48	1599.33
	جو Barely	2220.30	2092.97	1530.06	1639.32
	یونجه Alfalfa	1413.10	1312.12	732.98	865.11
	پسته Pistachio	51030	48600.55	46374.62	45540.83
مجموع سطح زیر کشت (هکتار) Total area under cultivation (hectare)		57063.40	54240.86 (-%5)	50070.14 (-%12)	49644.59 (-%13)
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)		4433.85	3158.35 (-%29)	3433.31 (-%23)	3134.68 (-%29)
میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) Water use (million cubic meters)		689.84	654.58 (-%5)	586.95 (-%15)	586.95 (-%15)
بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (ریال) Economic productivity of water consumption (Rials)		6427	4825(-%25)	5849(-%9)	5341(-%17)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

*اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

جدول ۱۱ به منظور مقایسه میزان بهره‌وری اقتصادی هر متر مکعب مصرف آب تحت سناریوهای مورد بررسی در محدوده‌های مطالعاتی مختلف ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که برای تمامی مناطق مورد مطالعه، افزایش یک واحد شوری بیشترین تأثیر منفی بر بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب دارد. بنابراین، کاهش کیفیت منابع آب در اثر افزایش شوری، عاملی بسیار تأثیرگذار در مدیریت منابع آب می‌باشد که توجه به این عامل مهم الزامی است. در بین مناطق مورد بررسی، کمترین و بیشترین کاهش بهره‌وری اقتصادی آب ناشی از افزایش شوری به ترتیب مربوط به محدوده‌های مطالعاتی بردسیر و رفسنجان است. این یافته نشان می‌دهد که منطقه‌ی رفسنجان به عنوان اصلی‌ترین تولیدکننده پسته استان و کشور، بیش از سایر مناطق مورد بررسی به افزایش شوری منابع آب حساس است.

نتایج نشان می‌دهد که سناریوی کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس تنها برای منطقه‌ی بردسیر باعث افزایش و برای سایر مناطق منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب می‌شود. بنابراین می‌توان از این سناریو به‌عنوان یک راهکار مناسب در مدیریت منابع آب منطقه‌ی بردسیر نام برد. همچنین، بیشترین میزان کاهش بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب در اثر کاهش ۱۵ درصدی منابع آب مربوط به محدوده‌ی مطالعاتی کرمان است. این یافته نشان می‌دهد که این محدوده به نسبت سایر مناطق از حساسیت بیشتری نسبت به کاهش کمیّت منابع آب برخوردار است.

جدول ۱۰- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر وضعیت کشاورزی کرمان

Table 10- Impacts of water quantity and quality depletion scenarios on agricultural of Kerman

سطح زیر کشت محصولات (هکتار) Cultivation area (hectare)	شرایط فعلی Current conditions	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
گندم Wheat	2600	4591.41	3870.70	4090.59
جو Barely	1906.40	3954.61	3462.27	3599.12
نخود Pea	110.40	611.92	603.92	588.33
یونجه Alfalfa	3290.80	0	0	0
ذرت علوفه‌ای Forage corn	332.60	403.75	298.75	336.58
پسته Pistachio	33512	31777.55	32161.79	31107.81
مجموع سطح زیر کشت (هکتار) Total area under cultivation (hectare)	41752.20	41339.24 (-%1)	40397.43 (-%3)	39722.44 (-%5)
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)	5375.89	3015.13 (-%44)	3337.71 (-%38)	3010.51 (-%44)
میزان مصرف آب (میلیون متر مکعب) Water use (million cubic meters)	399.14	360.02 (-%10)	339.61 (-%15)	339.61 (-%15)
بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب (ریال) Economic productivity of one cubic meter of water use (Rials)	13469	8375.38 (-%38)	9828 (-%27)	8864 (-%34)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

*اعداد داخل پرانتز بیانگر درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

جدول ۱۱- اثرات سناریوهای کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب بر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب

Table 11- Impacts of water quality and quantity reduction scenarios on economic productivity of one cubic meter of water use

محدوده‌های مطالعاتی Study Areas	شرایط فعلی Current conditions	سناریو ۱ Scenario 1	سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۳ Scenario 3
بردسیر Bardsir	2334	2317(-%1)	2649(+%13)	2557(+%10)
انار Anar	17110	10895(-%36)	13251(-%23)	12021(-%30)
رفسنجان Rafsanjan	17204	9024(-%48)	13331(-%23)	9024(-%48)
زرند Zarand	13490	8719(-%35)	10619(-%21)	9687(-%28)
سیرجان Sirjan	6427	4852(-%25)	5338(-%17)	5341(-%17)
کرمان Kerman	13469	8375(-%38)	9828(-%27)	8864(-%34)

مأخذ: یافته‌های تحقیق.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه‌ی حاضر با توجه به اهمیت صادرات غیرنفتی و ارز آوری حاصل از صادرات محصولات کشاورزی از جمله پسته و تأثیرگذاری شدید کمبود آب و شوری آب و خاک بر کاهش عملکرد این محصولات به ارزیابی اثرات کاهش کیفیت ناشی از افزایش شوری آب و کمیّت منابع آب بر کشاورزی آبی مناطق استان کرمان پرداخته شد. نتایج نشان داد که کمترین میزان کاهش عملکرد به افزایش یک واحدی شوری خاک مربوط به محصولات پسته و جو است. بنابراین، حساسیت عملکرد محصولات پسته و جو به میزان شوری کمتر از سایر محصولات است. نتیجه‌ی به دست آمده با نتایج مطالعات گولن و همکاران (۱۱) و دهقانی و همکاران (۸) مبنی بر اثر افزایش شوری آب بر کاهش عملکرد محصولات مختلف مطابقت دارد. بررسی اثرات کاهش کمیّت (اثر کمیابی) و کیفیت (افزایش شوری) منابع آب بر الگوی کشت مناطق مورد بررسی در قالب الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نیز نشان داد که کمترین و بیشترین میزان کاهش سطح زیر کشت در اثر کاهش کیفیت و کمیّت منابع آب به ترتیب مربوط به مناطق کرمان و رفسنجان بوده است. کاهش مجموع سطح زیر کشت در اثر کاهش کمیّت منابع آب در مطالعات کورتیگنانی و سروینی (۷)، بوستانی و همکاران (۴) و حسن‌وند و همکاران (۱۲) و در اثر کاهش کیفیت منابع آب ناشی از افزایش شوری در مطالعات نیکویی و همکاران (۲۷) و دلاور و همکاران (۹) برای مناطق مختلف نیز به اثبات رسیده است. همچنین نتایج نشان داد که سناریوی کاهش کمیّت منابع آب (کاهش ۱۵ درصدی منابع آب در دسترس) تنها برای منطقه‌ی بردسیر باعث افزایش و برای سایر مناطق منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب می‌شود. این در حالی است که در برخی از مطالعات مانند کورتیگنانی و سروینی (۷)، سینگ و پاندا (۳۷)، لویدو و همکاران (۲۴) و حسن‌وند و همکاران (۱۲) افزایش بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب در اثر کاهش کمیت منابع آب به اثبات رسیده است که متفاوت از نتایج مطالعه‌ی حاضر برای اکثر مناطق است.

افزون‌براین، نتایج نشان داد که کاهش کیفیت منابع آب ناشی از افزایش شوری، پسته‌کاران را در جهت کشت کمتر محصول پسته ترغیب کرده که این امر باعث کاهش سود ناخالص آن‌ها شده است. نتایج نشان داد که کاهش کیفیت منابع آب ناشی از افزایش یک واحدی شوری آب اثر منفی بر بازده برنامه‌ای (سود ناخالص) کشاورزان مناطق مختلف دارد که بیشترین اثر منفی مربوط به منطقه‌ی رفسنجان است. با توجه به اینکه افزایش شوری، بهره‌وری اقتصادی مصرف آب و مدیریت منابع آب در منطقه پسته خیز رفسنجان را با چالش جدی مواجه می‌سازد، لزوم توجه به ابزارهای بهبود بهره‌وری اقتصادی و مدیریت منابع آب از جمله استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری و یا راهکارهای اصلاح الگوی کشت و بیمه محصولات در جهت بهبود بازده برنامه‌ای می‌تواند موثر واقع شود. به طور کلّی نتیجه گرفته می‌شود که کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب (افزایش شوری) خسارات جبران ناپذیری بر اقتصاد کشاورزی تمامی مناطق مورد بررسی به جز منطقه‌ی بردسیر وارد می‌آورد. از این‌رو لزوم اتخاذ سیاست‌های لازم در زمینه‌ی کنترل کمیّت و کیفیت منابع آب، بهبود معیشت و مدیریت تقاضای منابع آب در سطح مناطق پسته خیز استان ضروری به نظر می‌رسد. در مطالعه‌ی حاضر برای بررسی اثر سناریوهای کاهش کمیّت و کیفیت منابع آب از الگو برنامه‌ریزی

ریاضی مثبت بهره گرفته شد که تنها عوامل اقتصادی کشاورزان را با توجه به مناطق کالیبره می‌سازد. حال آنکه برای بررسی دقیق‌تر این سناریوها بایستی تمامی جنبه‌های رفتاری، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی کشاورزان را در نظر و اثرات سناریوها را بررسی کرد. بنابراین استفاده از الگوهای عامل بنیان برای مطالعات آینده به منظور بررسی دقیق‌تر اثرات سناریوها پیشنهاد می‌شود.

منابع

1- Abbasnejad A., and Shahidasht A. 2013. Vulnerability of Sirjan Plain Due to Aquifer over Abstraction. Geography and Territorial Spatial Arrangement 7: 85-96. (In Persian)
2- Agricultural Jihad of Kerman. 2015. Statistical Yearbook of Agriculture Department of Kerman Province. (In Persian)
3- Bakhshi A., Moghaddsi R., and Daneshvar Kakhki M. 2012. An Application of Positive Mathematical Programming Model to Analyze the Effects of Alternative Policies to Water Pricing in Mashhad Plain. Journal of Economics and Agricultural Development 25: 284-294. (In Persian)
4- Boostani F., Mohammadi H., and Moindini Z. 2014. Consequences to irrigation groundwater price and quotas policies in Fars province (positive mathematical programming approach corrected). Water Engineering 7: 65-78. (In Persian)
5- Connor J.D., Schwabe K., King D., and Knapp K. 2012. Irrigated agriculture and climate change: the influence of water supply variability and salinity on adaptation. Ecological Economics 77: 149-157.
6- Cortignani R., and Severini S. 2009. Modeling farm-level adoption deficit irrigation using positive mathematical programming. Agricultural Water Management 96(12): 1785-1791.
7- Cortignani R., and Severini S. 2009. Modeling farm-level adoption deficit irrigation using positive mathematical programming, Agricultural Water Management. Agricultural Water Management 96(12): 1785-1791.
8- Dehghani M., Tadayon Nejad M., and Feizi M. 2013. The effect of quality and irrigation interval on wheat yield and some of its components. Journal of Water Research in Agriculture 27(2): 127-135. (In Persian)
9- Delavar M., Morid S., and Moghadasi M. 2015. Optimization of Water Allocation in Irrigation Networks Considering Water Quantity and Quality Constrains, Case Study: Zayandehroud Irrigation Networks. Iran- Water Resources Research 11(2): 83-96. (In Persian)
10- Ebrahimiyan S., Nohtani M., and Sadeghi Mazidi H. 2013. Investigating the Barriers to Implementing Optimal Water Resources Management in Iran's Agricultural System for Sustainable Development. Proceedings of the First National Conference on Challenges on Water Resources and Agriculture. Iranian Association of Irrigation and Drainage, Esfahan. (In Persian)
11- Gulen H., Turhan E., and Eris A. 2006. Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt stress. Acta Physiol. Plant 28(2): 109-116.
12- Hasanvand V., Hasanvand M., Joulaie R., and Shirani Bidabadi F. 2015. Simulation of Farmers Behavior towards Applying Water Reduction Policies on Cropping Patterns Using Positive Mathematical Programming (PMP). Village and Development 17(4): 71-92. (In Persian)
13- Heckelei T. 2002. Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis. University of Bonn.
14- Howitt R.E. 1995a. A Calibration Method for Agricultural Economic Production Models. Journal of Agricultural Economics 46(2): 147-159.
15- Howitt R.E. 1995b. Positive mathematical programming. American Journal of Agricultural Economics 77(2): 329-342.
16- Howitt R.E., Medellín-Azuara J., MacEwan D., and Lund J.R. 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Environmental Modelling & Software 38: 244-258.
17- Jafary F., and Bradley C. 2018. Groundwater irrigation management and the existing challenges from the farmers' perspective in central Iran. Land 7(1): 15.
18- Justice A., Mostafa Zadeh Farad B., Feizi M., and Landy A. 2013. Impact of salinity of irrigation water and soil leaching on soybean yield. Isfahan University of Technology, Isfahan, M.Sc Thesis.
19- Kan I., Schwabe K.A., and Knapp K.C. 2002. Microeconomics of irrigation with saline water. Journal of Agricultural and Resource Economics 16-39.
20- Katerji N., Van Hoorn J., Hamdy A., and Mastrorilli M. 2003. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. Agricultural Water Management 62(1): 37-66.
21- Khaghani, R., mahmoodi, S. H., Pazira, E. and Masihabadi, M. 2012. Investigation of Soil Salinity Changes and its Impact on Yield of Major Crops in Qazvin Plain. Crop Production under Environmental Stress 4(3): 27-37. (In Persian)
22- Kiani A.R., and Abbasi F. 2009. Assessment of the water-salinity crop production function of wheat using

experimental data of the golestan province, Iran. Irrig and Drain (58): 445–455.
23- Letey J., Dinar A. and Knapp K.C. 1985. Crop-water production function model for saline irrigation waters. Soil Science Society of America Journal 49(4): 1005-1009.
24- Levidow L., Zaccaria D., Maia R., Vivas E., Todorovic M. and Scardigno, A. 2014.Improving water-efficient irrigation: prospects and difficulties of innovativepractices. Agric. Water Manage 146: 84–94.
25- Mardani M., Ziaei S., Nikouei A.R., and Ahmadpour M. 2016. Designing a Crop Pattern Decision Support System in Isfahan Province: A Multi-Purpose Crop Regional Planning Approach. University of Zabol, Zabul, PhD dissertation. (In Persian)
26- Mohseni A., and Zibaei M. 2009. Analysing Consequences of Increasing Acreage of Colza in Namdan Plain of Fars Province: An Application of Positive Mathematical Programming. JWSS. 13(47):773-784. (In Persian)
27- Nikouei A.R., Torkamani J., and Mamanpoush A.R. 2010. Water Use Management at Different Salinity Level to Release Multi-Objectives of Farmers in Zayandeh Rud Basin. Quarterly Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4: 143-155. (In Persian)
28- Ors S., and Suarez D.L. 2017. Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress. Agricultural Water Management, 190: 31-41.
29- Paris Q. 2001. Symmetric positive equilibrium problem: a framework for rationalizing economic behavior with limited information. American Journal of Agricultural Economics 83(4): 1049-1061.
30- Paris Q. and Howitt R.E. 1998. An analysis of ill-posed production problems using maximum entropy. American journal of agricultural economics 80(1): 124-138.
31- Pirasteh-Anosheh H., Emam Y. and Sepaskhah A.R. 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. Int. J. Plant Prod 9: 467-486. (In Persian)
32- Piri, H., Ansari, H. and Parsa, M. 2016. Investigation of interactions between different irrigation and salinity levels on yield and components of forage sorghum by determining water and salinity production function in subsurface drip irrigation system. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Ph.D dissertation.
33- Pistachio Research Institute. 2013. Final Reports of Pistachio Research Institute. (In Persian)
34- Regional Water Company of Kerman. 2016. Water Resources Studies, Plain Reports of Kerman Province. (In Persian)
35- Schwabe K.A., Kan I. and Knapp K.C. 2006. Drainwater management for salinity mitigation in irrigated agriculture. American Journal of Agricultural Economics 88(1): 133-149.
36- Shirmohammadi-Ali Akbarkhani, Z., Ansari, H., Alizadeh, A. and enough, M. 2013. Evaluation of water-salinity-yield production functions in forage maize in Khorasan Razavi province. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4(7): 543-535. (In Persian)
37- Singh A., Panda S. N. 2013. Optimization and simulation modelling for managingthe problems of water resources. Water Resour. Manage 27(9): 3421–3431.
38- Singh, R. 2004. Simulations on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton–wheat in a semi-arid area of north-west India. Agricultural Water Management, 66(2): 153-162.
39- Van Genuchten M. T. 1986. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Model description and user manual. Unpubl. Res. Rep. US Salinity Lab. USDA/ARS, Riverside, Calif.
40- Van Genuchten M.T., and Hoffman G. 1984. Analysis of crop salt tolerance data. Ecological Studies: analysis and synthesis.
41- Ward, F.A. 2014. Economic impacts on irrigated agriculture of water conservation programs in drought. Journal of hydrology, 508: 114-127.
42- World Bank. 2010. World Development Indicators,. Available at: www.worldbank.org/.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 33, No. 4, Winter 2020, p. 395-412

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۴۱۲-۳۹۵

Economic Impact Assessment of Quantity and Quality Changes in Irrigation Water on Agriculture in Kerman Province

F. Salehi Rezaabadi[1]**- M. Salarpour**[2]**- M. Mardani Najafabadi**[3*]**- S. Ziaei**[4]

Received: 24-11-2019
Accepted: 01-02-2020

Introduction: Excessive extraction and depletion of groundwater aquifers and critical water status in more than 120 plains of the country have resulted in decreased water quality. In addition, the productivity of agricultural water of Iran in different years is on average lower than other countries. The results of most salinity studies show that high concentrations of salt in soil solution have significantly reduced the yield of crops and horticultural products in the country. More profitability and high market value of pistachio crops in comparison with other crops has led to many efforts by Kerman farmers to develop pistachio groves. Various studies show that over- extraction of groundwater resources in Kerman province and decreasing water quality of wells and consequently increasing salinity has reduced root growth and crop yield. In the present study, economic analysis of the effects of quantitative and qualitative changes of water in different scenarios on concepts such as yield, cropping pattern, water consumption and productivity and gross profit of farmers in major county of Kerman province has been investigated.

Materials and Methods: To achieve the goals of present study, we first obtained the salinity-water-yield function for each product. Then, by regarding this function in the positive mathematical programming model, the effect of different scenarios including changing water salinity level and changing water supply, on factors such as water productivity, crop yield, cropping pattern and gross profit of farmers especially pistachio growers are analyzed and investigated. In this regard, scenarios of 15% reduction of available water resources in different regions and increase of one salinity unit individually in combination with the above mentioned indicators are evaluated by conducting positive mathematical programming model and are identified by studied areas.

Results and Discussion: Investigation of the data reveals that discharge of aquifers is higher for recharge in all studied areas and consequently reduction of groundwater level has occurred. The result shows that the yield sensitivity of pistachio and barley crops to one unit soil salinity is lower than other crops. However, the highest yield loss as a result of increasing one unit in soil salinity as a scenario for canola and potato crops is 13 and 12 percent, respectively. Due to the decrease in quality and quantity of water resources, the total area under cultivation has decreased, with the lowest and highest reduction being in Kerman and Rafsanjan County, respectively. The results show that the scenario of 15% reduction in available water resources would just increases the area of Bardsir and leads to a decrease in one cubic meter economic productivity for other areas. On the other hand, by applying all three scenarios including decrease in quantity and quality of water resources, gross margin and water use will be reduced due to the decrease in the cultivated area of high yield and water based crops such as alfalfa and pistachio in Kerman region. Also, the results indicate that for all studied areas, increase in salinity by one unit has the most negative effect on economic productivity of one cubic meter of water consumption. In addition, the results reveal that decreasing the quality of water resources due to the increase in salinity encouraged the pistachio growers to cultivate less pistachio crop which would result in reducing their gross profit. Also, decreasing the quality of water resources caused by one unit increase in water salinity has a negative effect on the gross margin (gross profit) of farmers in different regions. This is mainly due to reduction in total area of cultivated pistachio in Rafsanjan County.

Conclusion: In general, decreasing the quantity and quality of water resources will cause irreparable damages to the agricultural economy of all studied areas except Bardsir. Therefore, it is vital to adopt appropriate policies to control the quantity and quality of water resources so improving livelihoods and water demand management in the pistachio areas of the province. The increasing salinity poses a serious challenge to the economic productivity of water use and water resources management in Rafsanjan, applying economic productivity improvement tools, such as the use of modern irrigation systems or crop pattern reform strategies

1, 2 and 4- Ph.D. Student, Assistant Professor and Associate Professor of Agricultural Economics, University of Zabol, respectively.
3- Assistant Professor of Agricultural Economics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
(*- Corresponding Author Email: m.mardani@Asnruh.ac.ir)

and product insurance can be effective in boosting gross margin.

Keywords: Crop-water-salinity production function, Gross margin, Positive mathematical programming model, Water quality, Water productivity